



Proyecto de Innovación

Convocatoria 2020/21

Nº de proyecto: 78

Lab at home: prácticas de Ingeniería Química en tiempos de
confinamiento

Responsable del proyecto: Marcos Larriba Martínez

Facultad de Ciencias Químicas

Departamento de Ingeniería Química y de Materiales

1. Objetivos propuestos en la presentación del proyecto

El objetivo principal del proyecto consiste en el diseño y la implementación de prácticas de laboratorio para ser empleadas en situaciones de docencia no presencial en dos asignaturas de la titulación del Grado en Ingeniería Química (Ingeniería Térmica y Operaciones de Separación) que garanticen la adquisición de competencias asociadas a las mismas.

Para ello, se han desarrollado pequeñas instalaciones construidas y diseñadas por los miembros participantes en este proyecto empleando Impresión 3D y materiales de uso cotidiano (termómetro, agua, microondas o cocina para calentar agua) que los estudiantes tienen a su disposición en sus domicilios. De esta forma, se busca garantizar la adquisición de todas las competencias indicadas en las guías docentes de las asignaturas.

Este objetivo general se concreta en los siguientes objetivos específicos:

- Garantizar el grado de experimentalidad de la titulación del Grado en Ingeniería Química.
- Garantizar la adquisición de competencias de los estudiantes matriculados en las asignaturas, aunque se produzcan situaciones de docencia no presencial.
- Diseñar instalaciones para prácticas de laboratorio empleando software de diseño e impresión 3D.
- Imprimir mediante impresión 3D las instalaciones para ser proporcionadas a los estudiantes.
- Incrementar el interés de los estudiantes por la investigación y el diseño de instalaciones industriales.
- Incrementar la empleabilidad de los egresados al adquirir competencias experimentales demandadas por las empresas del sector Químico-Industrial.
- Fomentar el trabajo conjunto de miembros del PDI, PAS y estudiantes de la UCM para la consecución de un proyecto conjunto.

Propuestas de valor del proyecto y necesidades a las que responde:

- Garantizar la realización de prácticas experimentales. Durante el curso 2019/20, se detectaron las limitaciones existentes al realizar prácticas de laboratorio virtuales centradas únicamente en el tratamiento y análisis de datos experimentales. La realización de prácticas experimentales ha sido demandada por parte de los estudiantes. Por este motivo, con este proyecto se pretende garantizar que se realizarán prácticas experimentales, donde los estudiantes puedan obtener sus propios datos experimentales, afrontando las dificultades asociadas a la experimentación, aunque se produzcan periodos de docencia no presencial debido a situaciones de crisis sanitarias.
- Garantizar el cumplimiento de las guías docentes y la adquisición de competencias. Las prácticas que se van a implementar en este proyecto de innovación docente tienen como principal objetivo mantener las competencias a adquirir por parte de los

estudiantes en las dos asignaturas obligatorias, aunque los laboratorios se realicen de forma no presencial.

- Fomentar el interés de los estudiantes por la investigación aplicada. Se mostrará mediante vídeos y presentaciones a los estudiantes todo el proceso de diseño y construcción de las instalaciones de las prácticas mediante diseño e impresión 3D. De esta forma, se proporcionará información sobre estas metodologías innovadoras que no se imparten en ninguna de las asignaturas del Grado en Ingeniería Química. Además, se fomentará la participación de los estudiantes matriculados en las asignaturas en la mejora de las instalaciones ya diseñadas o en el desarrollo de nuevas instalaciones para las prácticas de laboratorio de las diferentes asignaturas del Grado.

- Incrementar la empleabilidad y favorecer la inserción en el mercado laboral. Al mantener el grado de experimentalidad de la titulación, se mantendrá el nivel de formación de los egresados, garantizando la adquisición de estas competencias experimentales que son altamente demandadas por las empresas del sector Químico-Industrial en los graduados en Ingeniería Química.

- Fomentar la participación de miembros del PAS en proyectos de innovación docente. En este proyecto ha participado Andrés Curto, miembro del CAI de Talleres de Apoyo a la Investigación, concretamente del CAI de electrónica y delineación que participará activamente en el diseño e impresión de las instalaciones a emplear en las prácticas de laboratorio, ya que cuenta con una amplia experiencia en el diseño e impresión 3D. De esta forma, se incrementarán las relaciones existentes entre los miembros del PDI y el PAS participantes en esta propuesta, lo que cristalizará en el futuro en nuevos proyectos y colaboraciones. Además, se difundirá entre los estudiantes del Grado en Ingeniería Química la labor realizada por el CAI de Talleres de Apoyo a la Investigación, que habitualmente es desconocida por los estudiantes de Grado.

- Participación activa de estudiantes de Grado, Máster y Doctorado en la innovación docente. En esta solicitud participan diez estudiantes del programa de doctorado en Ingeniería Química. Varios de los estudiantes de doctorado participantes, disfrutaban de contratos del programa de Formación de Profesorado Universitario (FPU), por lo que la inclusión en este proyecto les permitirá la mejora de sus competencias docentes.

Además, se va a fomentar en todo momento la participación activa de los estudiantes de Grado matriculados en las asignaturas de Ingeniería Térmica y Operaciones de Separación en la mejora y optimización de las prácticas propuestas y en el diseño de nuevas instalaciones.

2. Objetivos alcanzados

Con el desarrollo del proyecto de innovación docente durante el curso 2020/21, se han logrado diseñar y construir un total de cuatro instalaciones experimentales para ser empleadas en los domicilios de los estudiantes matriculados en las asignaturas Ingeniería Térmica y Operaciones de Separación de tercer curso del Grado en Ingeniería Química.

En primer lugar, en el diseño de las instalaciones se ha perseguido que los estudiantes adquieran las competencias experimentales indicadas en las guías docentes de las asignaturas de Ingeniería Térmica y Operaciones de Separación. Según la guía docente de ambas asignaturas, los alumnos deben adquirir competencias experimentales relacionadas con la medición de parámetros en equipos e instalaciones de transmisión de calor y procesos de separación. La guía docente de Ingeniería Térmica detalla dos competencias específicas que deben adquirir los alumnos de la asignatura: medir los parámetros técnicos en equipos e instalaciones de transmisión de calor y su interpretación técnica y reconocer los principios en los que se basan los diferentes mecanismos de transmisión de calor. En las dos prácticas diseñadas para esta asignatura se ha buscado que los alumnos adquieran ambas competencias, utilizando instalaciones que les permitan medir y calcular parámetros técnicos. En estas prácticas se estudiará la transmisión de calor a través de los mecanismos de conducción y convección.

En la guía docente de Operaciones de Separación, se indica que los estudiantes deben adquirir dos competencias específicas durante los laboratorios de dicha asignatura. La primera competencia es medir parámetros técnicos en equipos e instalaciones de procesos de separación basados en la transferencia de materia. La segunda competencia es identificar los principios en los que se basan los diferentes procesos de separación. Para que los alumnos adquieran ambas competencias, se han diseñado dos prácticas basadas en dos operaciones de separación: extracción líquido-líquido y adsorción. En ambas prácticas, los alumnos determinarán los datos experimentales e interpretarán los resultados técnicos. También compararán los resultados obtenidos con las instalaciones para la solución del mismo problema: el tratamiento de aguas residuales contaminadas por un colorante.

Para lograr la adquisición de estas competencias por parte de los estudiantes, se ha utilizado una metodología mixta de los modelos educativos de aprendizaje autónomo y aprendizaje cooperativo en la obtención de los datos experimentales y la redacción del informe de laboratorio.

Se han diseñado e impreso en 3D dos instalaciones para la asignatura de Ingeniería Térmica, cuyo objetivo es estudiar la transmisión de calor por conducción y convección en intercambiadores de calor. En ambos casos se empleará agua caliente y agua fría como fluidos que intercambian calor, y la medición de la temperatura se realizará mediante termómetros de alcohol. En la Figura 1 se muestran las imágenes de ambas instalaciones.



Figura 1. Instalaciones obtenidas mediante impresión 3D para el estudio del intercambio de calor (izquierda) y de la transmisión de calor por conducción (derecha)

En el caso de la asignatura de Operaciones de Separación, se han diseñado dos experimentos de laboratorio centrados en la eliminación de un colorante (rodamina B) de una solución acuosa mediante extracción líquido-líquido y adsorción. En la Figura 2 se muestran las imágenes de los experimentos diseñados.

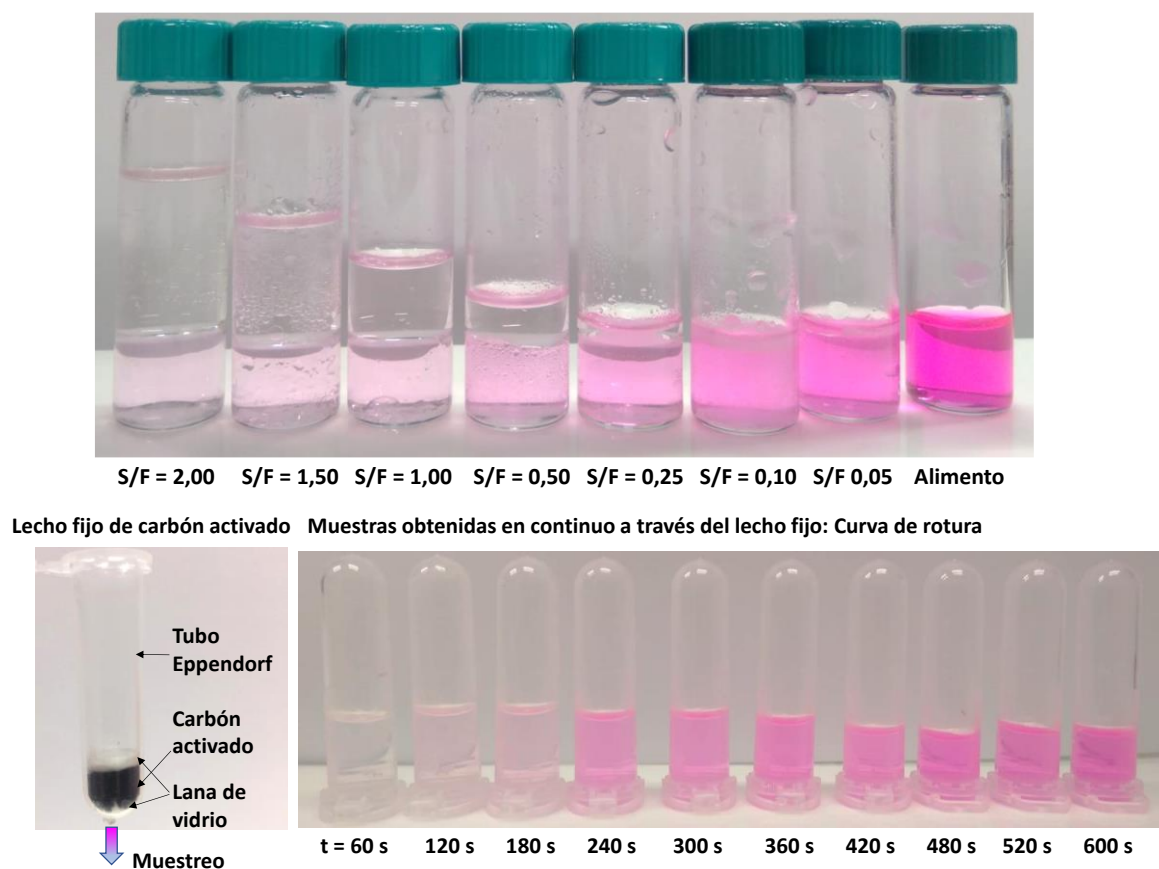


Figura 2. Imagen superior: Muestras obtenidas en la extracción de rodamina B con limoneno como disolvente. Imagen inferior: Muestras obtenidas en el experimento de adsorción de colorante en un lecho fijo de carbón activado.

3. Metodología empleada en el proyecto

La metodología utilizada en la implementación de las prácticas de laboratorio de la asignatura de Ingeniería Térmica ha seguido en cada una de las siguientes etapas:

- Diseño conceptual de la práctica. El diseño se ha basado en las instalaciones ya existentes en los laboratorios presenciales de la asignatura y buscando que los estudiantes confinados adquieran las competencias indicadas en la guía docente.
- Diseño mediante software de diseño 3D de la instalación. Se ha diseñado las instalaciones empleando el software Rhinoceros 7. En la Figura 3 se muestra el diseño 3D de la instalación de intercambio de calor.
- Impresión de la instalación en impresoras 3D. Una vez diseñada la instalación se ha impreso con la impresora Ultimaker 3 Extended basada en la tecnología de fabricación con filamento fundido (FFF) y empleando ácido poliláctico como material.

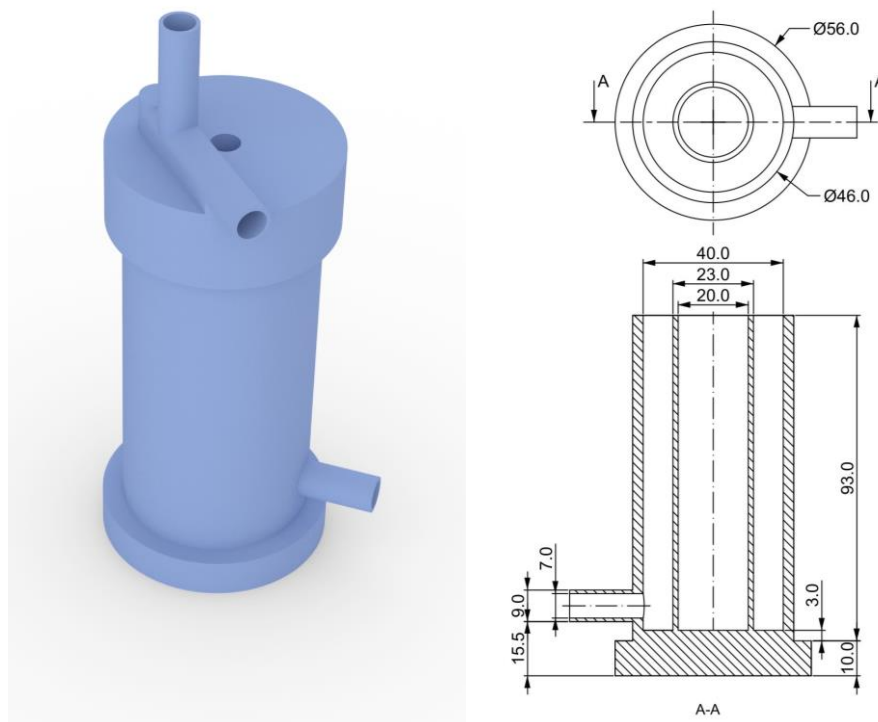


Figura 3. Diseño 3D del intercambiador de calor realizado mediante el software Rhinoceros 7 (imagen izquierda) y alzado y planta del intercambiador de calor (imagen derecha).

En las prácticas de la asignatura de operaciones de separación, el diseño conceptual se ha basado también en el cumplimiento de los objetivos de la guía docente. Para ello, se han diseñado dos experimentos de extracción líquido-líquido y adsorción para eliminar un colorante disuelto en agua. En ambas prácticas los estudiantes determinarán la concentración inicial y final de colorante en la disolución acuosa de forma visual mediante una escala colorimétrica proporcionada por los docentes. De esta forma, podrán comparar ambas tecnologías en la solución del mismo problema industrial, la eliminación de un colorante disuelto en agua.

4. Recursos humanos

El equipo docente participante ha estado constituido por cinco docentes que forman parte del Grupo de Catálisis y Operaciones de Separación de la UCM (ref. 910602). A continuación se indican los nombres y categorías de los miembros del PDI participantes en este proyecto:

- 3 Catedráticos: Gabriel Ovejero Escudero, Juan García Rodríguez y José Antonio Delgado Dobladez.
- 1 Profesor Titular: Vicente Ismael Águeda Maté.
- 1 Profesor Contratado Doctor: Marcos Larriba Martínez como responsable del proyecto.

Los docentes participantes en este proyecto han sido los responsables del diseño conceptual de las cuatro instalaciones experimentales diseñadas, que buscan garantizar la adquisición de competencias experimentales por parte de los estudiantes confinados en sus domicilios. Además, han coordinado la labor del resto de miembros participantes en el proyecto, que forman parte del PAS y del colectivo de estudiantes.

En este proyecto ha participado en el equipo de trabajo un miembro del PAS, Andrés Curto, miembro del CAI de Talleres de Apoyo a la Investigación, concretamente del Taller de Electrónica y Delineación. Andrés Curto, tiene una amplia experiencia en el diseño y la impresión 3D y ha participado activamente en la impresión 3D de las instalaciones experimentales para la asignatura de Ingeniería Térmica utilizando la impresora modelo Ultimaker 3 Extended, que trabaja con la tecnología de Fabricación con Filamento Fundido (FFF).

En este proyecto además han participado diez estudiantes de doctorado del programa de Ingeniería Química: Estrella Serra, Ana Belén Hernández, Dora Uribe, Gonzalo Pascual, Diego Rodríguez, Andrés Cañada, Eva Sanz, Ysabel Huacallo, Carlos Ruiz de León y Javier Cañas.

Estos estudiantes de doctorado han participado en el diseño conceptual de las instalaciones y en el diseño mediante software 3D de las mismas, ya que la gran mayoría trabaja con estos materiales en sus tesis doctorales. Asimismo, varios de los estudiantes abordan en sus tesis doctorales el empleo de las operaciones de separación de extracción líquido-líquido y adsorción en el tratamiento de aguas residuales, por lo que han aportado su experiencia en el diseño de las prácticas de Operaciones de Separación.

Además, la gran mayoría de estos estudiantes de doctorado son antiguos estudiantes del Grado en Ingeniería Química de la UCM, por lo que conocen a la perfección las competencias a adquirir en las asignaturas de Operaciones de Separación e Ingeniería Térmica. Su aportación y experiencia como egresados ha sido fundamental para diseñar de forma adecuada las instalaciones experimentales.

5. Desarrollo de las actividades

5.1. Diseño de las prácticas experimentales para Ingeniería Térmica

En Ingeniería Térmica, las prácticas de laboratorio suponen 1,7 créditos de los 9,0 créditos totales. Según la guía docente, en esta docencia experimental, los estudiantes deben adquirir dos competencias: “reconocer los principios en que se basan los diferentes mecanismos de transmisión de calor” y “medir los parámetros técnicos en equipos e instalaciones de transmisión de calor y su interpretación técnica”. Para lograr que los estudiantes las adquieran ya sea la docencia presencial o no presencial, se han diseñado dos prácticas de laboratorio con materiales de uso cotidiano y pequeñas instalaciones confeccionadas mediante impresión 3D.

En la primera de ellas, se analizan los mecanismos de transmisión de calor mediante convección y conducción utilizando una pequeña instalación realizada mediante impresión 3D formada por dos recipientes concéntricos con una pared en común. En ellos, situarán agua a dos temperaturas diferentes y medirán la variación de la temperatura en función de la diferencia de temperatura inicial, del tiempo y la utilización o no de agitación para estudiar el efecto de la convección.

La segunda práctica consiste en un pequeño intercambiador de tubos concéntricos realizado por impresión 3D en el que se hace circular agua procedente del grifo por uno de los tubos, mientras que en el otro hay agua calentada previamente a 50°C. Los estudiantes variarán el caudal de agua procedente del grifo y medirán las temperaturas de salida, obteniendo los parámetros de operación y diseño del cambiador. Ambas instalaciones se muestran en la Figura 4.

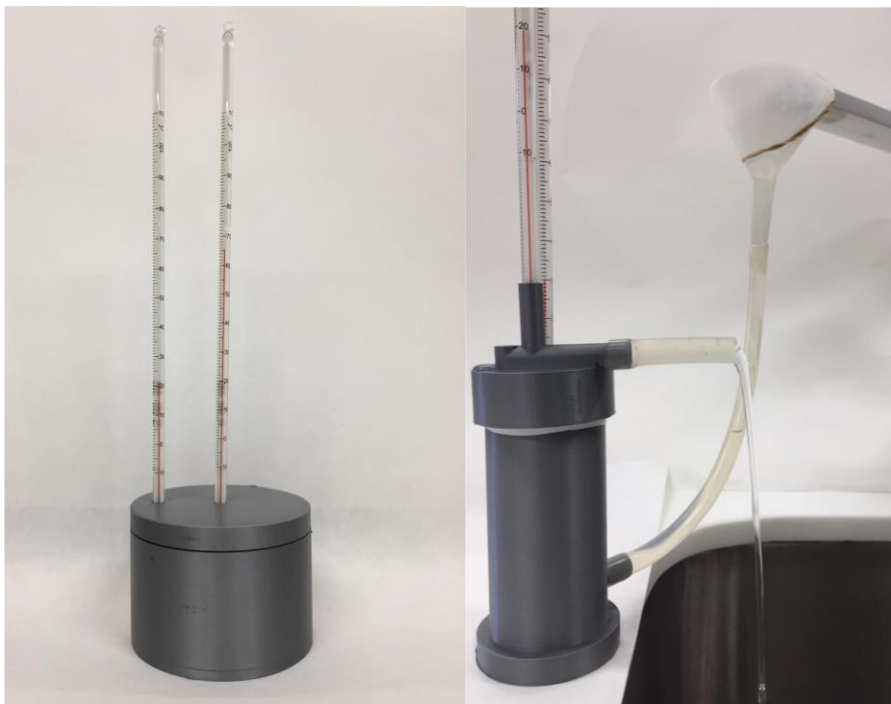


Figura 4. Instalación impresa en 3D para el estudio de la conducción de calor (imagen izquierda) y cambiador de calor impreso en 3D (imagen derecha).

5.2. Diseño de las prácticas de Operaciones de Separación

En la asignatura de Operaciones de Separación, los laboratorios suponen 1,8 créditos experimentales de los 12,0 créditos totales. En estas prácticas se deben adquirir dos competencias: “explicar los mecanismos y las leyes básicas del transporte de materia” y “medir los parámetros técnicos en equipos e instalaciones de operaciones de separación basadas en la transferencia de materia y para su interpretación técnica”. Para obtener ambas competencias se han implementado dos prácticas de laboratorio sobre dos operaciones de separación: la extracción líquido-líquido y la adsorción.

En la práctica de extracción líquido-líquido, se les proporcionará a los estudiantes un colorante soluble en agua, un bote de vidrio de 20 mL y emplearán como disolvente de extracción, el limoneno, un disolvente hidrofóbico de origen natural obtenido de aceites esenciales de cítricos. Los estudiantes optimizarán dos variables de la operación: la concentración inicial de colorante y la relación disolvente/alimento, determinando la concentración final de colorante en la disolución acuosa de forma visual mediante una escala colorimétrica proporcionada por los docentes. En la Figura 2, se han mostrado previamente los resultados obtenidos en la extracción del colorante con limoneno empleando varias relaciones disolvente/alimento (S/F).

En la segunda de las prácticas, se estudiará el proceso de adsorción de un colorante (Rodamina B) empleando un carbón activado comercial. Se han diseñado dos tipos de experimentos: en discontinuo y en continuo. En la Figura 5, se muestran los resultados obtenidos en la adsorción en discontinuo del colorante empleando cantidades crecientes de adsorbente (w) para así determinar la isoterma de adsorción a temperatura ambiente. Además de estos resultados, se ha diseñado un experimento en continuo en lecho fijo, cuyos resultados se han mostrado gráficamente en la Figura 2. Los estudiantes harán pasar a través de este lecho varias disoluciones del colorante en agua, determinando la capacidad de adsorción del lecho proporcionado.

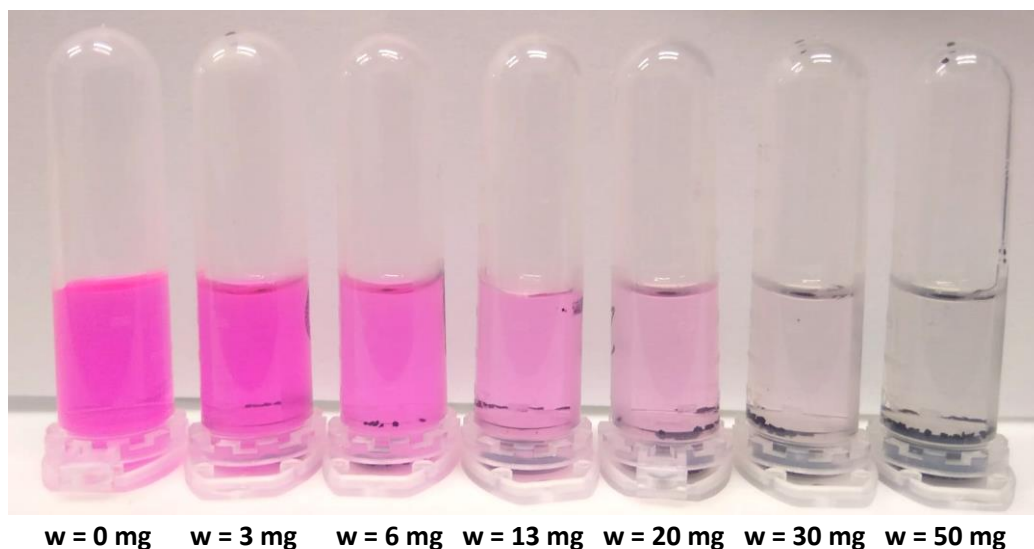


Figura 5. Determinación de la isoterma de adsorción en carbón activado del colorante Rodamina B a temperatura ambiente, empleando cantidades crecientes de carbón (w).

5.3.- Difusión de los resultados del proyecto

Las actividades realizadas en este proyecto de innovación docente y las instalaciones diseñadas para las asignaturas de Ingeniería Térmica y Operaciones de Separación se han difundido en el artículo mostrado en la Figura 6, publicado en la revista *Education for Chemical Engineers* (Q1 en la categoría de *Education*, *CiteScore Scopus*).

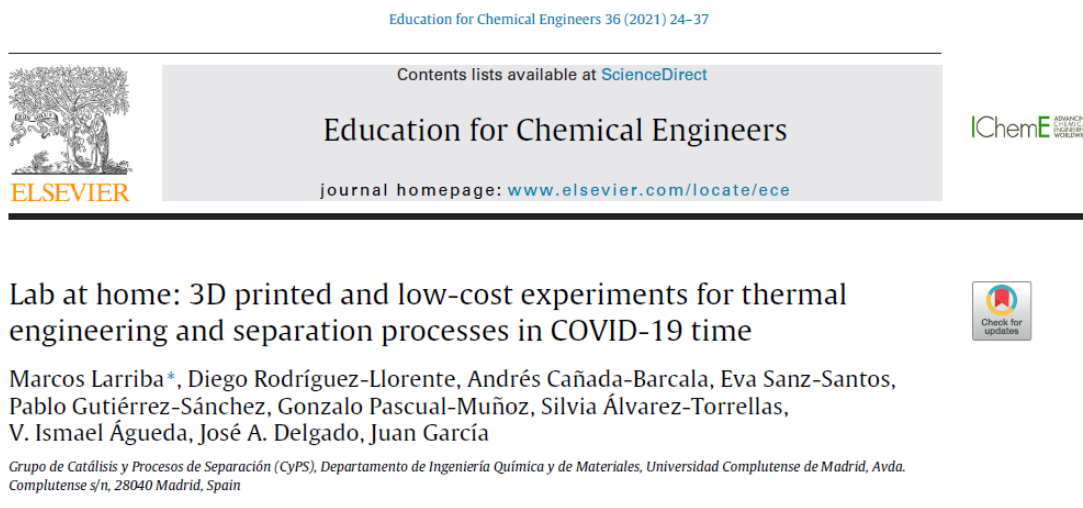


Figura 6. Artículo publicado en la revista *Education for Chemical Engineers*, editada por Elsevier, en el que se recogen los resultados obtenidos en este proyecto.

En este artículo se han descrito las cuatro instalaciones diseñadas, los resultados experimentales obtenidos con ellas y se han compartido de forma gratuita con la comunidad científica los archivos que permiten la impresión 3D de las instalaciones diseñadas para la asignatura de Ingeniería Térmica, por si fueran de utilidad para ser empleadas en otras universidades.